doi:10.3799/dqkx.2016.520

东昆仑与成矿有关的三叠纪花岗岩演化:基于莫河下拉 岩体岩石学、地球化学和锆石 U-Pb 年代学的证据

张 炜1,2,周汉文1,3*,朱云海1,毛武林1,佟 鑫1,马占青4,曹永亮4

1. 中国地质大学地球科学学院,湖北武汉 430074

2. 中国地质调查局南京地质调查中心,江苏南京 210016

3. 中国地质大学教育部长江三峡库区地质灾害研究中心,湖北武汉 430074

4. 青海省柴达木综合地质矿产勘查院,青海格尔木 816000

摘要:东昆仑造山带在三叠纪不仅是一个重要的构造一岩浆带,也是一个对于国民经济非常重要的多金属成矿带.该区在三叠纪形成了大量与成矿有关的花岗岩,它们之间的联系、与区域构造运动的关系目前尚未明确.在莫河下拉银多金属矿花岗 斑岩岩相学、地球化学和锆石年代学的研究基础上,总结了东昆仑地区三叠纪与成矿有关花岗岩的基本特征,并探讨了它们 的演化规律.结果表明:(1)东昆仑与成矿有关的三叠纪花岗岩年龄为250~200 Ma,具有一个由低 K 系列一中 K 钙碱性系列 向高 K 系列一钾玄岩系列过渡的明显趋势,240~200 Ma,A/NK 比值由 2.00 降到 1.00;(2)(⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr)_i为 0.710~0.715, _{€Nd}(*t*)值为一0.6~0.0, _{€Hf}(*t*)主要集中在-5~1,峰值为-2~1,表明东昆仑与成矿有关三叠纪花岗岩物质主要来源于古老 的地壳物质,同时有少量的幔源物质加入;(3)东昆仑地区在 240 Ma 进入后造山阶段,出现大规模的钙碱性花岗岩,220 Ma 之 后花岗岩大量减少,210~204 Ma 出现的花岗岩以碱性 A 型花岗岩为主,标志着碰撞造山结束进入到板内裂解阶段. **关键词:** 三叠纪花岗岩;地球化学;岩石学;后碰撞;莫河下拉;东昆仑造山带.

中图分类号: P581 **文章编号:** 1000-2383(2016)08-1334-15

收稿日期: 2016-03-08

The Evolution of Triassic Granites Associated with Mineralization within East Kunlun Orogenic Belt: Evidence from the Petrology, Geochemistry and Zircon U-Pb Geochronology of the Mohexiala Pluton

Zhang Wei^{1,2}, Zhou Hanwen^{1,3*}, Zhu Yunhai¹, Mao Wulin¹, Tong Xin¹, Ma Zhanqing⁴, Cao Yongliang⁴

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Nanjing Center of China Geological Survey, Nanjing 210016, China

3. Three Gorges Research Center for Geo-Hazards of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

4. Qaidam Synthetical Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Golmud 816000, China

Abstract: The East Kunlun orogenic belt is not only an important intrusive magmatic tectonic belt, but also a very important poly-metallic metallogenic belt for national economy. There are a large number of granites associated with mineralization formed in Triassic in this area, but the connection between them and the relationship about the tectogenesis are still not clear. In this paper, detailed petrography, element geochemical and zircon geochronological studies are presented for the Mohexiala granite-porphyry associated with silver poly-metallic ore; we summarize the characteristics of Triassic granites associated with mineralization within the East Kunlun orogenic belt, and discuss their evolution. Results show that: (1) the Triassic granites associated with mineralization within East Kunlun orogenic belt have a clear trend from low-K and mid-K calc-alkaline series to high-K

引用格式:张炜,周汉文,朱云海,等,2016. 东昆仑与成矿有关的三叠纪花岗岩演化:基于莫河下拉岩体岩石学、地球化学和锆石 U-Pb 年代学 的证据. 地球科学,41(8): 1334-1348.

基金项目:中国地质调查局地质调查工作项目(No. 1212011086001).

作者简介:张炜(1990-),男,硕士研究生,岩石学、矿物学、矿床学专业. E-mail: zhangwei_9010@163. com

^{*} 通讯作者:周汉文, E-mail: hwzhou@cug.edu.cn

calc-alkaline and shoshonite series during 250–200 Ma, their A/NK ratios decreased from 2.0 to 1.0 during 240–200 Ma; (2) the $({}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr})_i$ ratios between 0.710 to 0.715, $\epsilon_{Nd}(t) = -0.6 - 0.0$, the value of $\epsilon_{Hf}(t)$ are concentrated in -5-1 and the peak ranges between -2 to -1, indicating that the East Kunlun Triassic granites associated with mineralization were derived from the sources of ancient crust and mixed by mantle material; (3) the East Kunlun area got into the post-orogenic stage at 240 Ma and a large number of calc-alkaline granites formed, the granites gradually reduced after 220 Ma and some alkaline A-type granites occurred between 204 Ma and 210 Ma which indicates that the orogenic belt transformed from collision-orogeny to the intraplate break-up stage.

Key words: Triassic granites; geochemistry; petrology; post-collisional; Mohexiala; East Kunlun orogenic belt.

东昆仑地区在早古生代昆中洋盆闭合以后,成 为古特提斯洋北部活动性大陆边缘,巴彦喀拉一阿 尼玛卿洋自石炭纪开始向东昆仑地区俯冲,直到二 叠纪-三叠纪之交大洋完全闭合;在挤压应力场的 持续作用下,东昆仑地区发生陆内造山,形成一系列 的花岗岩(古凤宝,1994;罗照华等,1999,2002;袁万 明等,2000;莫宣学等,2007;宋忠宝等,2013;许庆 林,2014). 近年来在东昆仑地区发现了一系列与这 些花岗岩有关的铜、铅、锌、铁、钨多金属矿床(点) (刘云华等,2006;佘宏全等,2007;王松等,2009;宋 忠宝等,2010,2013;丰成友等,2012;高永宝,2013; 于淼,2013;夏锐等,2014;许庆林,2014;许庆林等, 2014),这些成矿花岗岩锆石年龄以及矿体的辉钼矿 Re-Os 年龄主要集中在三叠纪(图 1,表 1,表 2). 本区发育了一系列的成矿花岗岩,同时也有大量的 无矿花岗岩形成.前人对该花岗岩形成背景的研究 主要集中在无矿花岗岩上(陈国超等,2013;陈国超, 2014;罗明非等,2014),对于成矿花岗岩的研究则主 要集中于矿床地质特征以及单个与矿体有关花岗岩 的地球化学、年代学特征上(李世金等,2008;丰成友 等,2011;向鹏等,2013),这些成矿花岗岩之间有什 么关系? 它们与区域构造运动有什么关系? 这些问 题还鲜有学者研究.

莫河下拉银多金属矿床是东昆仑地区近年来新 发现的一处斑岩型矿床(拜红奎等,2012;许庆林, 2014;许庆林等,2014),位于乌图美仁西 100 km 左 右.许庆林(2014)对其成矿岩体花岗斑岩做了一些 地球化学与年代学的研究,并未研究其与东昆仑其 他成矿花岗岩之间的关系.本文在野外地质调查和 已有资料分析的基础上,对莫河下拉花岗岩进行了 岩相学、地球化学和年代学分析,将其与东昆仑地区 其他成矿相关花岗岩进行对比研究,探讨了东昆仑 地区与成矿有关花岗岩的岩浆源区、构造背景,以期 提高东昆仑地区花岗岩成因的研究程度,同时为区 域成矿规律和地质找矿提供依据.

1 地质背景

昆仑造山带是中央造山带的一部分,被 NE 向 的阿尔金左行走滑断裂分为东昆仑造山带和西昆仑 造山带.东昆仑造山带位于青藏高原北部,松潘一甘 孜北侧和柴达木盆地的南侧(图 1a),东西长 1500 km,南北宽 50~200 km.根据岩石组合和构 造特征,前人对东昆仑造山地区及其邻区提出了多 种构造单元划分方案(姜春发等,1992;Yang et al., 1996;殷鸿福和张克信,1997;姜春发等,2000;边千 韬等,2001).较为一致的观点是依据昆北断裂、昆中 断裂、昆南断裂将东昆仑地区分为昆北、昆中和昆南 3个构造带(图 1b).从晚古生代到早中生代,古特提 斯洋闭合及之后的大陆碰撞期间,东昆仑造山带发 育了大量与碰撞有关的花岗岩(姜春发等,1992; Yang et al., 1996,2009)(图 1c).

莫河下拉多金属矿位于柴达木断裂北侧、柴达 木盆地南缘东昆仑西段的祁漫塔格地区(图 1c).研 究区内出露地层主要有古元古代金水口岩群下岩 组、晚泥盆世牦牛山组和第四系冲洪积物(图 2).金 水口岩群下岩组主要岩性为灰白一肉红色混合岩、 黑云斜长片麻岩、薄层硅质大理岩(含黄铁矿).牦牛 山组岩性主要为中一中酸性熔结凝灰岩.断裂构造 较为发育,主要走向为 NEE-SWW,断层泥和构造 角砾岩发育,局部断层带中或附近可见中酸性岩浆 岩出露.

研究区内海西期、印支期和燕山期侵入岩都有 发育.海西期侵入岩主要为泥盆世辉长岩.印支期侵 入岩与成矿有关,主要为二长花岗岩、斑状二长花岗 岩、闪长岩、钾长花岗岩.钾长花岗岩主要分布于矿 区东部,其南侧边界以断层与金水口岩群下岩组和 泥盆世辉长岩接触;斑状二长花岗岩分布于矿区中 西部,呈不规则长条状分布于矿体附近,侵入到金水 口岩群下岩组内;钾长花岗岩和闪长岩以小岩株形 式产出,钾长花岗岩脉动侵入到斑状二长花岗岩内,





orogenic belt (c)

表1 东昆仑与成矿有关三叠纪花岗岩统计

Table 1 Statistics of East Kunlun Triassic granites associated with mineralization

序号	位置	矿种	岩石	年龄(Ma)	年龄测试方法	出处
1	埃坑德勒斯特	钼铜矿	花岗斑岩	248.0 ± 1.0	锆石 LA-ICP-MS	许庆林,2014
2	虎头崖景忍	铅锌多金属矿	二长花岗岩	239.7 \pm 0.8	锆石 LA-ICP-MS	高永宝,2013
3	卡而却卡	铜多金属矿	花岗闪长岩	237.0 ± 2.0	锆石 SHRIMP	王松等,2009
4	虎头崖	铅锌多金属矿	含暗色包体花岗闪长岩	235.4 \pm 1.8	锆石 LA-ICP-MS	丰成友等,2011
5	哈日扎	铜钼多金属矿	花岗闪长斑岩	234.5 ± 4.8	锆石 LA-ICP-MS	宋忠宝等,2013
6	尕林格	铁矿	石英二长岩	234.4 \pm 0.6	锆石 LA-ICP-MS	高永宝,2013
7	卡而却卡B矿区	铜多金属矿	花岗闪长岩	234.4 \pm 0.6	锆石 LA-ICP-MS	高永宝,2013
8	卡而却卡B矿区	铜多金属矿	花岗闪长岩的暗色包体	234.1 \pm 0.6	锆石 LA-ICP-MS	高永宝,2013
9	托克妥	铜钼多金属矿	二长花岗斑岩	232.5 \pm 0.9	锆石 LA-ICP-MS	夏锐等,2014
10	托克妥	铜钼多金属矿	花岗闪长斑岩	232.6 \pm 1.2	锆石 LA-ICP-MS	夏锐等,2014
11	哈陇休玛	钨钼矿	花岗闪长斑岩	230.0 ± 1.0	锆石 LA-ICP-MS	许庆林,2014
12	尕林格	铁矿	含暗色包体花岗岩	229.0 ± 1.0	锆石 LA-ICP-MS	于森,2013
13	尕林格	铁矿	石英二长闪长岩	228.3 \pm 0.5	锆石 LA-ICP-MS	高永宝,2013
14	加当根	铜钼矿	花岗闪长斑岩	227.0 ± 1.0	锆石 LA-ICP-MS	许庆林,2014
15	卡而却卡		似斑状二长花岗岩	227.3 ± 1.8	锆石 SHRIMP	丰成友等,2012
16	虎头崖景忍	铅锌多金属矿	花岗闪长岩	224.3 ± 0.6	锆石 LA-ICP-MS	高永宝,2013
17	鸭子沟	多金属矿	钾长花岗斑岩	224.0 ± 1.6	锆石 SHRIMP	李世金等,2008
18	莫河下拉	银铅锌多金属矿	花岗斑岩	222.0 ± 1.0	锆石 LA-ICP-MS	许庆林,2014
19	长山		钾长花岗岩	219.9 ± 1.3	锆石 SHRIMP	丰成友等,2012
20	虎头崖	铅锌多金属矿	二长花岗岩	219.2 \pm 1.4	锆石 LA-ICP-MS	丰成友等,2011
21	乌兰乌珠儿	斑岩铜矿	花岗斑岩	215.1 ± 4.5	锆石 SHRIMP	佘宏全等,2007
22	于沟子	铁一稀有金属矿	(碱性)钾长花岗岩	210.0 ± 0.6	锆石 LA-ICP-MS	高永宝,2013
23	虎头崖景忍	铁多金属矿	正长花岗岩	204.1 \pm 2.6	锆石 SHRIMP	刘云华等,2006

表 2 东昆仑三叠纪花岗岩矿床统计

Table 2 Statistics of East Kunlun Triassic granites mineral deposits

序号	位置	矿种	矿石	年龄(Ma)	年龄测试方法	出处
1	虎头崖	铅锌多金属矿	铜多金属矿石	225.0 ± 4.0	辉钼矿 Re-Os	丰成友等,2011
2	虎头崖	铅锌多金属矿	钼矿石	230.0 ± 4.7	辉钼矿 Re-Os	丰成友等,2011
3	鸭子沟	多金属矿	辉钼矿	224.7 \pm 3.4	辉钼矿 Re-Os	李世金等,2008
4	卡而却卡	铜多金属矿	辉钼矿	245.5 \pm 1.6	辉钼矿 Re-Os	高永宝,2013
5	卡而却卡	铜多金属矿	辉钼矿	239.0 \pm 11.0	辉钼矿 Re-Os	丰成友等,2009
6	加当根	铜钼矿	辉钼矿	227.2 ± 1.9	辉钼矿 Re-Os	向鹏等,2011

闪长岩则沿断裂产出,侵入到金水口岩群下岩组内. 燕山期钾长花岗岩主要分布于矿区西部,呈小岩株 状侵入到金水口岩群下岩组内.

研究区内地表可见铜、锌、银矿脉.通过钻孔和 地表观察,笔者发现矿化点主要赋存于裂隙面和构 造破碎带内.钻孔发现有隐伏岩体花岗斑岩,岩体具 有明显的矿化蚀变,可见黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿 和少量方铅矿呈侵染状、细脉状分布于岩体内或节 理裂隙中,表现出斑岩型矿化的特点.同时岩体可见 清楚的钾化、石英绢云母化和青磐岩化蚀变,其中钾 化带和石英绢云母化带为主要矿化带.

2 样品采集及岩相学

本文研究的样品取自于莫河下拉矿床钻孔 11MZK08和12MZK1500中的新鲜花岗斑岩样品 (图 3a,3b).样品呈灰白一灰红色,斑状结构,斑晶 粒径为 0.2~2.0 mm,块状构造.主要矿物有石英 (30%)、钾长石(30%)、斜长石(20%)、黑云母 (5%)、不透明矿物(5%);斑晶矿物主要为钾长石、 斜长石和少量黑云母,含量为15%~20%.斑晶斜 长石,可见聚片双晶(图 3c),部分可见环带,粒径可 达4 mm,含量5%,部分蚀变较强,蚀变矿物主要为 片状绿泥石和细粒状绿帘石;斑晶钾长石粒径为 0.5~2.5 cm,部分可见简单双晶,大多数无双晶,呈



图 2 莫河下拉银多金属矿矿区地质简图

Fig. 2 Geology sketch of Mohexiala silver poly-metallic ore

1. 第四系冲洪积物;2. 晚泥盆世牦牛山组;3. 古元古代金水口岩群;4. 晚侏罗世钾长花岗岩;5. 晚三叠世二长花岗岩;6. 晚三叠世斑状二长花 岗岩;7. 晚三叠世闪长岩;8. 晚三叠世钾长花岗岩;9. 晚泥盆世辉长岩;10. 铜矿脉;11. 锌矿脉;12. 银矿脉;13. 断层;14. 推测断层;15. 采样钻 孔位置及钻孔编号



图 3 莫河下拉花岗斑岩手标本及显微照片

Fig. 3 Photos of samples and photomicrographs under plane polarized light of Mohexiala granite-porphyry a. 钻孔 11MZK08 花岗斑岩岩心照片;b. 钻孔 12MZK1500 花岗斑岩岩心照片;c. 花岗斑岩斜长石斑晶显微照片(正交);d. 花岗斑岩钾长石斑 晶显微照片(正交). 矿物代号缩写:Kf. 钾长石;Pl. 斜长石;Bi. 黑云母;Ep. 绿帘石

长板状,较为自形,多数发生了蚀变,蚀变矿物为高 岭土和绢云母(图 3d);黑云母自形,多被蚀变为不 透明矿物、绿泥石和绢云母(图 3d),保留有原有矿 物晶形,粒径为0.1~0.2 mm.部分斜长石斑晶边缘 可见一圈蚀变相对较弱的钠长石边,说明岩浆在结 晶过程中成分发生了变化,钙含量减少.基质主要矿 物为细粒石英和长石,主要为他形粒状结构,粒径为 0.05~0.10 mm,石英无蚀变,表面比较干净,长石 多蚀变为绿泥石、绿帘石和绢云母.副矿物为磁铁 矿、锆石、磷灰石和榍石等.

3 分析方法

样品用 5%的 HCl 淋滤,用 Milli-Q 水在超声

波超净环境下清洗,然后用玛瑙研磨至 200 目以下. 所有样品进行主、微量元素分析,对钻孔 12MZK1500的1个样品选取锆石用于定年.

3.1 主量和微量元素

岩石主、微量元素分析由澳实分析检测(广州) 有限公司完成. 主量元素用 X 荧光光谱仪分析方法 完成,使用仪器为荷兰 PANalytical 波长色散 X 射 线荧光光谱仪.具体方法为:试样煅烧后加入 50% Li₂B₄O₇-50% LiBO₂ 助熔物,均匀混合,在1000 ℃ 以上使之熔融,然后将熔融物倒出后形成扁平玻璃 片,再用 X 荧光光谱仪分析.其中 P2O5 检出下限为 0.001%,其余主量元素检出下限为 0.010%. 微量 元素处理使用电感耦合等离子体质谱仪完成,使用 仪器为美国 Perkin Elmer Elan 9000 等离子质谱 仪,具体方法为:将试样加入 LiBO2 溶剂中,均匀混 合,在1000℃以上的熔炉中融化,熔融冷却后使用 HNO3 定容,然后用等离子体质谱仪分析. Cr 检出 下限为 10×10⁻⁶, Zr 检出下限为 2×10⁻⁶, Ba、Ce、 Ga、Hf、La、Nb、Rb、Y 检出下限为 0.1×10⁻⁶~ 1.0×10⁻⁶,其余检出下限≪0.1×10⁻⁶.

3.2 锆石 U-Pb 定年

锆石挑选在河北省廊坊市诚信地质服务有限公司利用标准矿物分离技术分选完成.在双目镜下挑选表面平整、具有不同长宽比例、不同柱锥面特征和颜色的锆石,将这些锆石整齐排列在双面胶上,贴在载玻片上,罩上 PVC 环,然后将环氧树脂和固化剂充分混合注入 PVC 环,待环氧树脂固化后对其表面抛光至锆石中心.在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室进行锆石阴极发光(CL)照相.锆石 U-Pb 同位素分析之前,通过透射光图、反射光图、阴极发光(CL)图像研究锆石的晶体形貌和内部结构特征,选择晶形完好、无包裹体、无裂缝、透明度好、粒度较大、环带清晰的单颗粒锆石进行测试.

锆石 U-Pb 同位素定年在中国地质大学(武汉) 地质过程与矿产资源国家重点实验室利用 LA-ICP-MS 分析仪完成.激光剥蚀系统为 GeoLas2005, ICP-MS 为 Agilent7500a.激光斑束和频率分别设 定为 32 μm 和 8 Hz.激光剥蚀过程中采用氦气为载 气、氩气作为补偿气以调节灵敏度.应用标准锆石 91500 进行同位素分馏校正,锆石微量元素含量利 用 NIST610 玻璃作为外标、Zr 作为内标进行定量 计算(Liu et al., 2010b).锆石测点的同位素比值、 U-Pb 表面年龄计算采用 ICPMSDataCal(Liu et al., 2008, 2010a)完成,采用 Isoplot4.15 程序计算 锆石加权平均年龄.详细分析方法及参数见文献 (Liu *et al.*, 2008, 2010a).

4 分析结果

4.1 主量元素

表 3 列出了莫河下拉花岗斑岩样品的主量元素 分析结果,可以看出它们的主要特点为:岩石中 Al_2O_3 含量较高(14.1%~15.3%,平均值为 14.8%),而 MgO 含量较低(0.58%~0.66%,平均 值为 0.62%, Mg[#] = 23~29), Fe₂O₃ 含量为 3.05%~3.82%;富碱(Na₂O+K₂O=8.04%~ 8.49%,平均值为 8.29%)、高钾(K₂O/Na₂O= 1.06~2.72,平均值为 1.63),为钙碱性岩石,如图 4a 所示投入到高钾钙碱性一钾玄岩系列范围内. AKI 值[(Na₂O+K₂O)/Al₂O₃,分子数比值]为 0.70~0.75,平均值为 0.74; A/CNK 为 1.02~ 1.09,平均值为 1.05,所有样品点均落在过铝质系 列岩石区域(图 4b).

4.2 微量元素和稀土元素

表 3 列出了莫河下拉花岗斑岩样品的稀土、微量元素测定结果和部分参数的计算结果. 从表中可以看出稀土元素的主要特征为: Σ REE 较高, 变化范围为 170. 7 × 10⁻⁶ ~ 183. 1 × 10⁻⁶, 平均值为 175. 1×10⁻⁶;轻重稀土相对球粒陨石都富集 10 倍以上,轻重稀土比值 LREE/HREE 为 12. 5~12. 8, 轻重稀土分馏明显((La/Yb)_N=173. 9~258. 4,反映了轻稀土富集、重稀土明显亏损的特点; δ Eu=0.64~0.72, 平均值为 0.68, Eu 具有较弱的负异常(图 5b), 说明岩石经历了一定的斜长石分离结晶作用, 但是分离结晶作用不明显.

图 5a 显示微量元素分布特征为:大离子亲石元 素明显富集,特别是 Rb、Th、U、K 富集明显;所有 样品都有 Ba 的微弱负异常,其中一个样品显示弱 的 Sr 负异常,这可能与斜长石的分离结晶有关(李 昌年,1992);另外,样品有明显的 Nb、Ta、P、Ti 负 异常,与"岛弧"环境岩石类似,其中 P、Ti 的强烈亏 损可能与磷灰石、钛铁矿的分离结晶有关(李献华 等,2001).

4.3 锆石 U-Pb 定年

笔者对样品 12MZK1500tw03 进行锆石 U-Pb 定 年(表 4,图 6,图 7).图 6显示大部分锆石形态为长柱 状,锆石晶体较大,长轴为120~420 μm,短轴为

表 3 莫河下拉花岗斑岩主量元素(%)、微量和稀土元素(10⁻⁶)分析结果

Table 3 Major elements (%), trace elements and rare earth elements (10^{-6}) concentrations of Mohexiala granite-porphyry

样品号	11MZK08 TW1	12MZK1500 TW04	12MZK1500 TW03	样品号	11 MZK 08 TW1	12MZK1500 TW04	12MZK1500 TW03
SiO_2	65.8	68.7	66.9	Lu	0.34	0.35	0.33
TiO_2	0.34	0.32	0.34	Nb	11.9	11.5	11.5
Al_2O_3	14.1	15.3	15.0	Nd	27.5	25.7	26.0
Fe_2O_3	3.82	3.06	3.71	Pr	8.12	7.58	7.64
MnO	0.19	0.04	0.07	Rb	264	184	221
MgO	0.58	0.63	0.66	Sm	4.83	4.45	4.51
CaO	1.64	1.92	1.81	Sn	40.0	15.0	18.0
Na_2O	2.16	4.13	3.96	Sr	125	340	251
K_2O	5.88	4.36	4.37	Ta	1.20	1.10	1.10
P_2O_5	0.11	0.10	0.11	Tb	0.63	0.57	0.58
BaO	0.12	0.10	0.09	Th	18.1	17.8	17.5
Total	100.7	100.2	99.9	Tm	0.32	0.31	0.30
LOI	3.63	1.42	2.35	U	5.31	5.08	5.05
A/CNK	1.09	1.02	1.03	V	17.0	18.0	17.0
A/NK	1.42	1.33	1.33	W	721	524	574
K_2O/Na_2O	2.72	1.06	1.10	Y	19.7	19.5	19.9
K_2O+Na_2O	8.04	8.49	8.33	Yb	2.00	2.16	2.07
Mg [#]	23.2	29.1	26.2	Zr	253	242	242
Κ	4.88	3.62	3.63	(La/Yb) _N	15.6	13.6	14.2
Р	480	436	480	R_1	2 142	2 011	1 933
Ti	2 040	1 920	2 040	R_2	481	538	521
Ba	1110	852	783	Y+Yb	21.7	21.6	21.9
Ce	85.1	79.1	78.3	Sr/Y	6.3	17.4	12.6
Cr	$<\!\!10$	< 10	$<\!\!10$	Ba/Th	61.3	47.8	44.7
Cs	7.32	7.64	8.25	Nb/Zr	0.05	0.05	0.05
Dy	3.46	3.21	3.16	Rb/Sr	2.11	0.54	0.88
Er	1.96	2.04	2.00	Rb/Ba	0.24	0.22	0.28
Eu	1.04	0.89	0.86	Y+Nb	31.6	31.0	31.4
Ga	15.0	17.4	16.9	Yb+Ta	3.20	3.26	3.17
Gd	3.77	3.33	3.44	\sum REE	183	171	170
Hf	7.30	7.10	7.00	LREE	169	158	158
Ho	0.71	0.66	0.70	HREE	13.1	12.6	12.5
La	43.4	41.1	40.9	LREE/HREE	12.8	12.5	12.5

注:LOI为烧失量,单位为%;Mg[#]=Mg²⁺/(Mg²⁺+Fe²⁺);A/CNK=Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O)(摩尔数比);A/NK=Al₂O₃/(Na₂O+K₂O)(摩尔数比);R₁=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti);R₂=6Ca+2Mg+Al;(La/Yb)_N标准化数据来自于 Sun and McDonough(1989).



图 4 东昆仑与成矿有关三叠纪花岗岩 K₂O-SiO₂(a)和 A/NK-A/CNK(b)关系

Fig. 4 K₂O-SiO₂(a) and A/NK-A/CNK (b) relations of the East Kunlun Triassic granites associated with mineralization 图 a 据 Rickwood(1989);图 b 据 Maniar and Piccoli(1989);数据来源同表 1

50~150 μm;长宽比为 2:1~4:1,半自形到自形, 显示清晰的振荡环带;透射光下也有明显的韵律环 带. 锆石 Th/U 比值为 0.51~0.66,均大于 0.40,具 有岩浆锆石的典型特征(Hoskin, 2003),说明锆石 结晶年龄可代表莫河下拉花岗岩的成岩年龄.图 7 显示锆石²⁰⁷ Pb/²³⁵ U和²⁰⁶ Pb/²³⁸ U年龄落在谐和线



图 5 东昆仑与成矿有关三叠纪花岗岩微量元素蛛网图(a)与稀土元素配分曲线(b)

Fig. 5 Trace elements spider diagram (a) and REE pattern (b) of East Kunlun Triassic granites associated with mineralization 200~210 Ma 期间是根据一组数据绘制的曲线,而 210~220 Ma, 220~230 Ma 和 230~240 Ma 期间均是根据多组数据构成的范围图框; 原始 地幔和球粒陨石标准化值据 Sun and McDonough(1989); 数据来源同表 1

		T 7		207 DL /		206 DL /			年龄	(Ma)		Net to the
分析点号	1 h (10 ⁻⁶)	(10^{-6})	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	诸相度 (%)
12MZK1500TW03-01	124	203	0.61	0.2389	0.0131	0.0351	0.0005	218	11	222	3	97
12MZK1500TW03-02	133	222	0.60	0.2426	0.014 3	0.0355	0.0005	221	12	225	3	98
12MZK1500TW03-03	162	251	0.65	0.2561	0.0126	0.0344	0.0004	231	10	218	3	94
12MZK1500TW03-04	132	230	0.57	0.2473	0.0136	0.0349	0.0004	224	11	221	3	98
12MZK1500TW03-05	118	208	0.57	0.2505	0.0139	0.0348	0.0005	227	11	221	3	97
12MZK1500TW03-06	100	180	0.55	0.2510	0.0172	0.0348	0.0005	227	14	220	3	96
12MZK1500TW03-07	96	174	0.55	0.2478	0.0157	0.0351	0.0006	225	13	223	4	99
12MZK1500TW03-08	120	219	0.55	0.2423	0.0135	0.0350	0.0005	220	11	222	3	99
12MZK1500TW03-09	106	189	0.56	0.2453	0.0150	0.0352	0.0005	223	12	223	3	99
12MZK1500TW03-10	88	132	0.66	0.2538	0.0192	0.0351	0.0006	230	16	222	4	96
12MZK1500TW03-11	110	206	0.54	0.2511	0.014 5	0.0350	0.0006	228	12	222	3	97
12MZK1500TW03-12	133	228	0.58	0.2518	0.0134	0.0345	0.0005	228	11	218	3	95
12MZK1500TW03-13	124	208	0.59	0.2415	0.0152	0.0353	0.0005	220	12	224	3	98
12MZK1500TW03-14	115	204	0.56	0.2305	0.0130	0.0346	0.0005	211	11	219	3	95
12MZK1500TW03-15	116	204	0.57	0.2323	0.0134	0.0351	0.0005	212	11	223	3	95
12MZK1500TW03-16	148	223	0.66	0.2519	0.0121	0.0348	0.0005	228	10	221	3	96
12MZK1500TW03-17	118	210	0.56	0.2618	0.0132	0.0349	0.0004	236	11	221	3	93
12MZK1500TW03-18	121	213	0.57	0.2554	0.0135	0.0357	0.0005	231	11	226	3	97
12MZK1500TW03-19	87	161	0.54	0.2334	0.0152	0.0348	0.0005	213	13	220	3	96
12MZK1500TW03-20	95	174	0.54	0.2414	0.0133	0.0349	0.0005	220	11	221	3	99
12MZK1500TW03-21	111	168	0.66	0.2401	0.0188	0.0350	0.0005	218	15	222	3	98
12MZK1500TW03-22	130	231	0.56	0.2438	0.0133	0.0350	0.0005	222	11	222	3	99
12MZK1500TW03-23	109	191	0.57	0.2464	0.0154	0.0351	0.0005	224	13	222	3	99
12MZK1500TW03-24	66	130	0.51	0.2422	0.0195	0.0346	0.0005	220	16	220	3	99
12MZK1500TW03-25	99	176	0.56	0.2315	0.0171	0.0343	0.0005	211	14	217	3	97
12MZK1500TW03-26	104	194	0.54	0.2501	0.0135	0.0346	0.0005	227	11	219	3	96
12MZK1500TW03-27	111	201	0.55	0.2354	0.0137	0.0355	0.0005	215	11	225	3	95
12MZK1500TW03-28	102	187	0.55	0.2432	0.0158	0.0349	0.0005	221	13	221	3	99
12MZK1500TW03-29	86	148	0.58	0.2426	0.0183	0.0349	0.0005	221	15	221	3	99
12MZK1500TW03-30	104	197	0.53	0.2367	0.0139	0.0348	0.0005	216	11	221	3	97

表 4	莫河下拉银多金属矿	节花岗斑岩	LA-ICP-MS 锆石	U-Pb 测年结果
		101-12-14	/H H	= = (A) PH /

Table 4 LA-ICP-MS U-Pb zircons dating results of Mohexiala granite-porphyry



图 6 莫河下拉花岗斑岩锆石 CL 照片 Fig. 6 CL images of zircons of Mohexiala granite-porphyry





Fig. 7 Zircon U-Pb concordia diagram of Mohexiala graniteporphyry

上,而且分布集中,说明该岩体形成后 U-Pb 体系是 封闭的,反映了锆石的形成年龄即为岩浆的结晶年 龄.谐和年龄为 221.7±2.0 Ma,MSWD 为 0.19;加 权平均年龄为 221.4±1.1 Ma,MSWD 为 0.45,两 个年龄非常一致,为晚三叠世,属于印支期.

5 讨论

5.1 东昆仑与成矿有关的三叠纪花岗岩成岩年龄

三叠纪是东昆仑地区一个重要的成矿期(王岳 军等,1999;袁万明等,2000;李大新等,2003;张德全 等,2005;何书跃等,2008;吴健辉等,2010;李碧乐 等,2012).近年来随着辉钼矿 Re-Os 同位素方法和 锆石 U-Pb 同位素定年方法的发展,不少与花岗岩 有关的矿体成矿年龄和花岗岩形成年龄被陆续报道 (图 1).如:卡而却卡与 234.4±0.6 Ma 花岗闪长岩 有关的铜多金属矿辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 245.5±1.6 Ma(高永宝,2013)、虎头崖与 219.2± 1.4 Ma 二长花岗岩有关的铅锌多金属矿辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 230.0±4.7 Ma 和 225.0± 4.0 Ma(丰成友等,2011)、鸭子沟辉钼矿化的 224.0±1.6 Ma 钾长花岗斑岩辉钼矿 Re-Os 同位素 年龄为 225.0±3.4 Ma(李世金等,2008).

图1显示近年来在东昆仑地区获得的与成矿有 关的三叠纪花岗岩年龄与成矿年龄、本文获得的 221.4±1.1 Ma 莫河下拉花岗斑岩的锆石 U-Pb 年 龄,这些数据显示东昆仑地区与成矿有关花岗岩的 形成贯穿于整个三叠纪;250~240 Ma 期间,花岗岩 形成较少,与之相关的成矿也较少;240~220 Ma 期 间大量的花岗岩和金属矿床开始形成;220 Ma 之 后,花岗岩逐渐减少,成矿也逐渐减少.这些花岗岩 年龄和成矿年龄都印证了三叠纪是东昆仑地区的重 要活动时期,同时也印证了东昆仑造山带在三叠纪 与区内金属成矿密切相关.

5.2 东昆仑与成矿有关的三叠纪花岗岩岩相和地 球化学特征演化

东昆仑地区三叠纪与成矿有关的花岗岩种类多 样,从较基性的花岗闪长岩、二长花岗岩、石英二长 岩到较酸性的花岗闪长斑岩、花岗斑岩、钾长花岗斑 岩均有发育.这些花岗岩中年龄较老的(≥230 Ma) 岩体中部分含有暗色包体,成分更加偏基性,以花岗 闪长岩、石英二长岩为主(高永宝,2013;于森, 2013);而年龄较年轻的多为斑岩,其成分也更加偏 酸性,以钾长花岗斑岩、花岗斑岩为主(佘宏全等, 2007;许庆林,2014).

三叠纪与成矿有关的花岗岩中,从 250~200 Ma,其K₂O含量逐渐升高,图 4a显示一个由低 K系列一中 K 钙碱性系列向高 K 系列一钾玄岩系 列过渡的明显趋势,其中 250~240 Ma 主要为低 K 系列一中 K 钙碱性系列,240~200 Ma 主要为高钾 钙碱性一钾玄岩系列,但是其 K₂O 和 SiO₂ 含量逐 渐升高. A/CNK 比值变化较大,但是主要集中在 1.0附近;250~240 Ma 时期其主要为过铝质,240~210 Ma 时期其准铝质和过铝质均有,210~200 Ma 时期其主要为准铝质,并且向过碱质过渡(图 4b);其 A/NK 比值在 240~200 Ma 逐渐降低,由 2.00 左右降到 1.00 左右,说明在此期间,岩石中 Al 含量逐渐降低、Na 和 K 含量逐渐升高. 本文给出的莫河下拉花岗斑

岩数据与区域上的 230~220 Ma 花岗岩数据一致,落 在同一区域内(图 4). 如图 5 所示, 240~200 Ma 期间 的成矿花岗岩地球化学特征变化不大,基本一致,都 具有 Eu 负异常,亏损 Nb、Ta、P、Ti 等大离子亲石元 素,富集 K、Th、U、Rb 的特征;但是在 240~200 Ma期 间,Sr含量明显由较富集向亏损过渡,Eu负异常逐渐 变弱,说明在这个过程中斜长石含量逐渐减少.前人 (丰成友等,2012;高永宝,2013)给出的 237~226 Ma 东昆仑与成矿有关的三叠纪花岗岩(⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr)_i为 0.710~0.715, end(t)值为-6.0~0.0(图 8a), 分布相 对比较集中,模式年龄(t_{DM}=1.61~1.95 Ga)远大于 其形成年龄(237~226 Ma)(图 8a);图 8b显示东昆仑 与成矿有关的三叠纪花岗岩的ε_щ(t)值主要集中为 一5~1,峰值为一2~一1,其主体为负值,少量的数据 大于 0,大于 0 的数值在 239~210 Ma 均有,模式年龄 $t_{\rm DM2}$ 为1102~1674 Ma.

5.3 东昆仑与成矿有关的三叠纪花岗岩的构造环 境演化

250~240 Ma,东昆仑与成矿有关的花岗岩为 埃坑德勒斯特过铝质、富钠钙碱性系列花岗斑岩,许 庆林(2014)研究认为其为基性下地壳物质部分熔融 所形成,说明在这个阶段碰撞造山已经开始.

240~210 Ma,东昆仑与成矿有关的花岗岩特 征为:准铝质和过铝质均有、A/NK 比值由 2.00 左 右降到 1.00 左右,主要为高钾钙碱性花岗岩.已有 研究表明碰撞造山的后碰撞阶段,壳幔相互作用加 强,发生强烈的壳幔混合作用,因而在该阶段会形成 大量的混合成因花岗岩(Pearce, 1996).后碰撞花 岗岩的物质主要来自于早期洋陆俯冲阶段形成的岛 弧系列物质,因而后碰撞花岗岩在地球化学特征上



图 8 东昆仑与成矿有关三叠纪花岗岩(87 Sr/ 86 Sr)_i- $\epsilon_{Nd}(t)$ 关系(a)和锆石 $\epsilon_{Hf}(t)$ 分布(b)

Fig. 8 $({}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr})_i$ - $\epsilon_{Nd}(t)$ relation (a) and zircon $\epsilon_{Hf}(t)$ distribution (b) of East Kunlun Triassic granites associated with mineralization

图 a 数据引自于丰成友等(2012)和高永宝(2013).图 b:1. 虎头崖 239 Ma 二长花岗岩;2. 尕林格 234 Ma 石英二长岩;3. 卡而却卡 B 矿区234 Ma 花岗闪长岩;4. 尕林格 228 Ma 石英二长闪长岩;5. 虎头崖 224 Ma 花岗闪长岩;6. 于沟子 210 Ma 钾长花岗岩;数据来自于高永宝(2013)



图 9 东昆仑与成矿有关三叠纪花岗岩 R₁-R₂ 和 SiO₂-Mg[#]关系

Fig. 9 R_1 - R_2 and SiO₂-Mg[#] relations of East Kunlun Triassic granites associated with mineralization a 图据 Batchelor and Bowden(1985), R_1 =4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti), R_2 =6Ca+2Mg+Al;b 图据 Stern and Kilian(1996);引用数据来源同表 1



图 10 东昆仑与成矿有关三叠纪花岗岩构造判别图解

Fig. 10 Tectonic discrimination diagram of East Kunlun Triassic granites associated with mineralization VAG. 火山弧花岗岩; Syn-COLG. 同碰撞花岗岩; Post-COLG. 后碰撞花岗岩; WPG. 板内花岗岩; ORG. 洋脊花岗岩. 底图据 Boynton(1983);引用数据来源同表 1

常常具有类似于岛弧花岗岩的特征:富集大离子亲 石元素,亏损高场强元素和Nb、Ta.240~210 Ma 东 昆仑与成矿有关的三叠纪花岗岩都落在后碰撞区域 (图 9a).本文提供的莫河下拉花岗斑岩以及东昆仑 其他与成矿有关的三叠纪花岗岩的投点都落在同碰 撞、后碰撞和火山弧花岗岩区交汇区,即后碰撞花岗 岩区(图 10).如前文 Hf 同位素特征所述,笔者认为 东昆仑与成矿有关三叠纪花岗岩物质主要来源于地 壳物质,同时有少量的幔源物质加入.240~ 210 Ma,东昆仑与成矿有关的花岗岩中地幔混染成 分逐渐减少,地壳成分逐渐升高(图 9b),表明东昆 仑成矿花岗岩越来越偏向于酸性、碱性,地幔混染成 分逐渐减少,地壳成分逐渐升高.由此可知在 240~ 210 Ma,东昆仑地区后碰撞造山正在慢慢减弱,该 区花岗岩产出数量随时间的变化关系也与之对应.

后碰撞花岗岩主要为高钾钙碱性系列(Roberts and Clemens, 1993; Pearce, 1996),并且逐渐向碱 性一过碱性系列过渡,高钾、碱性 A 型花岗岩类的

出现预示着碰撞造山期结束,进入到板内裂解阶段. 于沟子钾长花岗岩(210.0±0.6 Ma)为高钾钙碱性 A型花岗岩(高永宝,2013)、景忍正长花岗岩 (204.1±2.6 Ma)为碱性 A型花岗岩,它们的出现 预示着东昆仑地区在 210 Ma 左右进入板内裂 解阶段.

前人研究表明东昆仑地区在晚古生代一早中生 代是一个连续的构造演化阶段(古凤宝,1994;罗照 华等,1999,2002;姜春发等,2000;袁万明等,2000; 莫宣学等,2007).早古生代昆中洋盆闭合以后,东昆 仑地区成为古特提斯洋北部活动性大陆边缘,石炭 纪以来随着巴彦喀拉一阿尼玛卿洋开始向东昆仑地 区俯冲,直到二叠纪一三叠纪之交大洋完全闭合;在 挤压应力场的持续作用下,东昆仑地区发生陆内造 山,形成一系列后碰撞花岗岩(罗照华等,1999, 2002;莫宣学等,2007;宋忠宝等,2013;许庆林, 2014).郭正府等(1998)提出东昆仑地区在260~ 230 Ma 处于大洋板块的大规模俯冲阶段,丰成友等 (2012)提出东昆仑地区在 237 Ma 之后进入后碰撞 构造阶段.后碰撞阶段地壳增厚、下地壳部分熔融、 部分地幔物质加入而形成大量的钙碱性一碱性花岗 岩,本文总结前人资料认为:250~240 Ma,东昆仑 地区出现的与成矿有关花岗岩极少,并且为同碰撞 花岗岩;240 Ma 之后开始大规模出现与成矿有关的 钙碱性花岗岩,即进入后碰撞造山阶段,在这一阶段 钙碱性花岗的形成一直持续到 220~210 Ma 才逐 渐减少,该阶段花岗岩有大量的地幔物质混染,因此 易于形成大规模的 Cu-Pb-Zn 等金属矿产.210~ 204 Ma 期间出现的花岗岩以碱性 A 型花岗岩为 主,这标志碰撞造山结束,进入到造山后伸展阶段.

6 结论

(1)莫河下拉银铅锌多金属矿床的花岗斑岩为 高钾钙碱性花岗岩,富集 LREE,轻重稀土分馏明 显,具有弱的负 Eu 异常(*d*Eu=0.64~0.72).大离 子亲石元素明显富集,Rb、Th、U、K 富集明显,具有 明显的 Nb、Ta、P、Ti 负异常,Ba 具有微弱的负异 常.锆石 U-Pb 年龄为 221.4±1.1 Ma.

(2) 东昆仑与成矿有关的三叠纪花岗岩中, 250~200 Ma,具有一个很明显由低 K 系列一中 K 钙碱性系列向高 K 系列一钾玄岩系列过渡的趋势; 240~200 Ma, A/NK 比值由 2.00 降到 1.00. (87 Sr/ 86 Sr);为 0.710~0.715, $\epsilon_{Nd}(t)$ 值为一0.6~ 0.0,模式年龄(t_{DM} =1.61~1.95 Ga)远大于其形成 年龄(237~226 Ma); $\epsilon_{Hf}(t)$ 主要集中在一5~1,峰 值为一2~-1,模式年龄 t_{DM2} =1102~1674 Ma.说 明东昆仑与成矿有关的三叠纪花岗岩物质主要来源 于地壳物质,230~240 Ma 的花岗岩内暗色包裹体 说明在此期间有少量的幔源物质加入.

(3)东昆仑地区在 240 Ma 进入后造山阶段,出现大规模的钙碱性花岗岩,这一阶段钙碱性花岗的 形成一直持续到 220~210 Ma 才逐渐减少,210~ 204 Ma 期间出现的花岗岩以碱性 A 型花岗岩为 主,标志着碰撞造山结束,进入到板内裂解阶段.

致谢:野外工作得到青海省柴达木综合地质矿 产勘查院的大力支持和帮助;参加野外工作的还有 荷兰阿姆斯特丹自由大学的 Wijbrans • JanRoelof 教授及硕士研究生 Huijge • MaartenAlexander 和 Bontje • ChristelJeanetteCorine;在论文撰写过程 中,武汉地质调查中心李福林工程师提出了很好的 建议;两位审稿人为本文的修改完善提出了建设性 的意见;编辑也给予了很多帮助;在此一并致以衷心的感谢!

References

- Bai, H. K., Ma, H. Y., E, Q. L., et al., 2012. Geological Characteristics and Genesis of in the Mohexiala Silver Polymetallic Deposit, Golmud, Qinghai Province. Urban Construction Theory Research, (7) (in Chinese).
- Batchelor, R. A., Bowden, P., 1985. Petrogenetic Interpretation of Granitoid Rock Series Using Multicationic Parameters. *Chemical Geology*, 48(1-4):43-55. doi:10. 1016/0009-2541(85)900 34-8
- Bian, Q. T., Luo, X. Q., Li, D. H., et al., 2001. Geochemistry and Formation Environment of the Buqingshan Ophiolite Complex, Qinghai Province, China. Acta Geologica Sinica, 75(1):45-55 (in Chinese with English abstract).
- Boynton, W. V., 1983. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements, Meteorite Studies. *Developments in Geochemistry*,2(2):63-114. doi: 10. 1016/b978-0-444-42148-7. 50008-3
- Chen, G. C. ,2014. Petrology, Genesis and Geological Significance of Late Paleozoic-Early Mesozoic Granitoids in East Kunlun Orogen (Dissertation). Chang'an University, Xi'an (in Chinese with English abstract).
- Chen, G. C., Pei, X. Z., Li, R. B., et al., 2013. Late Triassic Magma Mixing in the East Kunlun Orogenic Belt. A Case Study of Helegang Xilikete Granodiorites. *Geology in Chi*na, 40(4):1044-1065 (in Chinese with English abstract).
- Feng, C. Y., Li, D. S., Qu, W. J., et al., 2009. Re-Os Isotipic Dating of Molybdenite from the Suolajier Skarn-Type Copper-Molybdenum Deposit of Qimantage Mountain in Qinghai Province and Its Geological Significance, *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 223 – 227 (in Chinese with English abstract).
- Feng, C. Y., Wang, S., Li, G. C., et al., 2012. Middle to Late Triassic Granitoids in the Qiamantage Area, Qinghai Province, China. Chronology, Geochemistry and Metallogenic Significances. Acta Petrologica Sinica, 28(2): 665-678 (in Chinese with English abstract).
- Feng, C. Y., Wang, X. P., Shu, X. F., et al., 2011. Isotopic Chronology of the Hutouya Skarn Lead-Zinc Polymetallic Ore District in Qimantage Area of Qinghai Province and Its Geological Significance. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 41(6):1806-1817 (in Chinese with English abstract).
- Gao, Y. B., 2013. The Intermediate-Acid Intrusive Magmatism and Minerlizationg in Qimantag, East Kunlun Moutains (Dissertation). Chang'an University, Xi'an (in

Chinese with English abstract).

- Gu, F. B., 1994. Geological Characteristics of East Kunlun and Tectonic Evolution in Late Palaezoic-Mesozoic Era. *Geology of Qinghai*, (1):4-14 (in Chinese with English abstract).
- Guo, Z. F., Deng, J. F., Xu, Z. Q., et al., 1998. Late Palaeozoic-Mesozoic Intracontinental Orogenic Process and Intermedate-Acidic Igneous Rocks from the Eastern Kunlun Moutains of Northweatern China. *Geoscience*, 12 (3):51-59 (in Chinese with English abstract).
- He, S. Y., Qi, L. Y., Shu, S. L., et al., 2008. Metallogenic Environment and Potential in the Qimantage Porphyry Copper Deposit, Qinghai. *Geology and Prospecting*, 44 (2):14-22 (in Chinese with English abstract).
- Hoskin, P. W. O., 2003. The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53 (1): 27 – 62. doi. 10. 2113/0530027
- Huang, H., Niu, Y. L., Nowell, G, et al., 2014. Geochemical Constraints on the Petrogenesis of Granitoids in the East Kunlun Orogenic Belt, Northern Tibetan Plateau: Implications for Continental Crust Growth through Syn-Collisional Felsic Magmatism. *Chemical Geology*, 370: 1-18. doi:10.1016/j. chemgeo. 2014. 01.010
- Jiang, C. F., Wang, Z. Q., Li, J. Y., 2000. Close-Open Tectonic of Central Orogenic Belt. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Jiang, C. F., Yang, J. S., Feng, B. G., et al., 1992. Close-Open Tectonic of Kunlun Orogenic Belt. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Li, B. L., Shen, X., Chen, G. J., et al., 2012. Geochemical Features of Ore-Forming Fluids and Metallogenesis of Vein I in Asiha Gold Ore Deposit, Eastern Kunlun, Qinghai Province. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 42(6):1676-1687 (in Chinese with English abstract).
- Li, C. N. ,1992. Trace Elements Petrology of Igneous. China University of Geosciences Press, Wuhan, 181 (in Chinese).
- Li, D. X., Zhang, D. Q., Cui, Y. H., et al., 2003. The Root Part of the Xiaosaishitengshan Porphyry Cu (Mo) Deposit. Acta Geoscientia Sinica, 24(3): 211-218 (in Chinese with English abstract).
- Li,S. J., Sun, F. Y., Feng, C. Y., et al., 2008. Geochronological Study on Yazigou Polymetallic Deposit in Eastern Kunlun, Qinhai Province. Acta Geologica Sinica, 82 (7):949-955 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. H., Zhou, H. W., Liu, Y., et al., 2001. Mesozoic Shoshonitic Intrusives in the Yangchun Basin, Western

Guangdong, and Their Tectonic Significance. [[. Trace Elements and Sr-Nd Isotopes. *Geochimica*, 1(30):57-65 (in Chinese with English abstract).

- Liu, Y. H., Mo, X. X., Yu, X. H., et al., 2006. Zircon SHRIMP U-Pb Dating of the Jingren Granite, Yemaquan Region of the East Kunlun and Its Geological Significance. Acta Petrologica Sinica, 22(10): 2457 – 2463 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. S., Gao, S., Hu, Z. C., et al., 2010a. Continental and Oceanic Crust Recycling-Induced Melt-Peridoite Interactions in the Trans-North Orogen. U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements in Zircons from Mantle Xenoliths. *Journal of Petrology*, 51(1-2):537-571. doi:10.1093/petrology/egp082
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Zong, K. Q., et al., 2010b. Reappraisement and Refinement of Zircon U-Pb Isotope and Trace Element Analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535–1546. doi:10.1007/s11434-010-3052-4
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Gao, S., et al., 2008. In Situ Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by LA-ICP-MS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, 257(1-2): 34-43. doi. 10. 1016/j. chem geo. 2008. 08. 004
- Luo, M. F., Mo, X. X., Yu, X. H., et al., 2014. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Age Dating, Petrogenesis and Tectonic Implications of the Triassic Granites from the Xiangride Area, East Kunlun. Acta Petrologica Sinica, 30 (11): 3229-3241 (in Chinese with English abstract).
- Luo, Z. H., Deng, J. F., Cao, Y. Q., et al., 1999. On Late Paleozoic-Early Mesozoic Volcanism and Regional Tectonic Evolution of Eastern Kunlun, Qinghai Province. *Geoscience*, 13 (1):51-56 (in Chinese with English abstract).
- Luo, Z. H., Ke, S., Cao, Y. Q., et al., 2002. Late Indosinian Mantle-Drived Magmatism in the East Kunlun. Geological Bulletin of China, 21(6): 292-297 (in Chinese with English abstract).
- Maniar, P. D., Piccoli, P. M., 1989. Tectonic Discrimination of Granitoids. Geological Society of America Bulletin, 101(5):635-643. doi:10.1130/0016-7606(1989)101 <0635:tdog>2.3.co;2
- Mo, X. X., Luo, Z. H., Deng, J. F., et al., 2007. Granitoids and Crustal Growth in the East-Kunlun Orogenic Belt. *Geological Journal of China Universities*, 13(3):403-414 (in Chinese with English abstract).
- Pearce, J., 1996. Sources and Setting of Granitic Rocks. *Epi-sodes*, 19(4):120–125.
- Rickwood, P. C. , 1989. Boundary Lines within Petrologic Diagrams which Use Oxides of Major and Minor Ele-

ments. *Lithos*, 22(4): 247 - 263. doi: 10. 1016/0024 - 4937(89)90028 - 5

- Roberts, M. P., Clemens, J. D., 1993. Origin of High-Potassium, Talc-Alkaline, I-Type Granitoids. *Geology*, 21 (9):825. doi: 10. 1130/091-7613(1993)021<0825: oohpta>2. 3. co;2
- She, H. Q., Zhang, D. Q., Jing, X. Y., et al., 2007. Geological Characteristics and Genesis of the Ulan Uzhur Porphyry Copper Deposit in Qinghai. *Geology in China*, 34 (2):306-314 (in Chinese with English abstract).
- Song, Z. B., Jia, Q. Z., Zhang, Z. Y., et al., 2010. Study on Geological Feature and Origin of Yemaquan Fe-Cu Deposit in Qimantage Area, Eastern Kunlun. Northwestern Geology, 43(4):209-217 (in Chinese with English abstract).
- Song, Z. B., Zhang, Y. L., Chen, X. Y., et al., 2013. Geochemical Characteristics of Harizha Granite Diorite-Porphyry in East Kunlun and Their Geological Implications. *Mineral Deposits*, 32(1):157-168 (in Chinese with English abstract).
- Stern, C. R., Kilian, R., 1996. Role of the Subducted Slab, Mantle Wedge and Continental Crust in the Generation of Adakites from the Andean Austral Volcanic Zone. *Constributions to Mineralogy and Petrology*, 123(3): 263-281. doi. 10. 1007/s00410 0050155
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and Isotopic Systematic of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society*, *London*, *Special Publications*, 42 (1): 313 – 345. doi: 10. 1144/gsl. sp. 1989. 042. 01. 19
- Wang, S., Feng, C. Y., Li, S. J., et al., 2009. Zircon SHRIMP U-Pb Dating of Granodiorite in the Kaerqueka Polymetallic Ore Deposit, Qimantage Mountain, Qinghai Province, and Its Geological Implications. *Geology in China*, 36(1):74-84 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. J., Shen, Y. C., Lin, G., et al., 1999. Paleozoic Tectonmagmatism in the Northern Central Kunlun Mountains and Its Evolution. Acta Geoscientia Sinica, 20(1):1-9 (in Chinese with English abstract).
- Wu, J. H., Feng, C. Y., Zhang, D. Q., et al., 2010. Geology of Porphyry and Skarn Type Copper Polymetallic Deposits in Southern Margin of Qaidam Basin. *Mineral Deposits*, 29 (5):760-774 (in Chinese with English abstract).
- Xia, R., Qing, M., Wang, C. M., et al., 2014. The Genesis of the Ore-Bearing Porphry of the Tuoketuo Porphry Cu-Au (Mo) Deposit in the East Kunlun, Qinghai Province, Constraints from Zircon U-Pb Geochronalogical and Geochemistry. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 44(5):1502-1524 (in Chinese with

English abstract).

- Xiang, P., 2011. Mineralization Characteristics and Conditions of the Jiadanggen Porphyry Cu (Mo) Deposit, Qinghai Province, China (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan.
- Xiang, P., Yao, S. Z., Zhou, Z. G., 2013. Geochemistry and Genesis of Igneous Rocks in Jiadanggen Porphyry Cu (Mo) Deposit, Qinghai Province, China. Northwestern Geology, 46(1):139-153 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Q. L., 2014. Study on Metallogenesis of Porphyry Deposits in Eastern Kunlun Orogenic Belt, Qinghai Province (Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Xu, Q. L., Sun, F. Y., Li, B. Y., et al., 2014. Geochronological Dating, Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of the Granite-Porphyry in the Mohexiala Silver Polymetallic Deposit, Eastern Kunlun Orogenic Belt. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2):421-433 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. S. , Robinson, P. T. , Jiang, C. F. , et al. , 1996. Ophiolites of the Kunlun Mountains, China and Their Tectonic Implications. *Tectonophysics*, 258 (1-4): 215-231. doi:10.1016/0040-1951 (95)00199-9
- Yang, J. S., Shi, R. D., Wu, C. L., et al., 2009. Dur'ngoi Ophiolite in East Kunlun, Northeast Tibetan Plateau. Evidence for Paleo-Tethyan Suture in Northwest China. *Journal of Earth Science*, 20(2):303-331. doi. 10. 1007/s12583-009-0027-y
- Yin, H. F., Zhang, K. X., 1997. Characteristics of the Eastern Kunlun Orogenic Belt. *Earth Science*, 22(4): 3-6 (in Chinese with English abstract).
- Yu, M., 2013. Geochemistry and Zonation of the Galinge Iron Deposit, Qinghai Province (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Yuan, W. M., Mo, X. X., Yu, X. H., et al., 2000. The Record of Indosinian Tectonic Setting from the Granotoid of Eastern Kunlun Moutains. *Geological Review*, 46 (2):203-211 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, D. Q., Dang, X. Y., She, H. Q., et al., 2005. Ar-Ar Dating of Orogenic Gold Deposits in Northern Margin of Qaidam and East Kunlun Moutains and Its Geological Significance. *Mineral Deposits*, 24(2):87-98 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

拜红奎,马鸿颖,鄂琴莲,等,2012.青海省格尔木市莫河下拉 银多金属矿地质特征及成因浅析.城市建设理论研究 (电子版),(7).

- 边千韬,罗小全,李涤徽,等,2001. 青海省阿尼玛卿带布青山 蛇绿混杂岩的地球化学性质及形成环境. 地质学报,75 (1):45-55.
- 陈国超,2014.东昆仑造山带(东段)晚古生代一早中生代花 岗质岩石特征、成因及地质意义(博士学位论文).西 安:长安大学.
- 陈国超,裴先治,李瑞保,等,2013. 东昆仑造山带晚三叠世岩 浆混合作用:以和勒冈希里克特花岗闪长岩体为例.中 国地质,40(4):1044-1065.
- 丰成友,王松,李国臣,等,2012.青海祁漫塔格中晚三叠世花 岗岩:年代学、地球化学及成矿意义.岩石学报,28(2): 665-678.
- 丰成友,王雪萍,舒晓峰,等,2011.青海祁漫塔格虎头崖铅锌 多金属矿区年代学研究及地质意义.吉林大学学报(地 球科学版),41(6):1806-1817.
- 高永宝,2013. 东昆仑祁漫塔格地区中酸性侵入岩浆活动与 成矿作用(博士学位论文). 西安:长安大学.
- 古凤宝,1994. 东昆仑地质特征及晚古生代一中生代构造演 化. 青海地质,(1): 4-14.
- 郭正府,邓晋福,许志琴,等,1998. 青藏东昆仑晚古生代末一 中生代中酸性火成岩与陆内造山过程. 现代地质,12 (3): 51-59.
- 何书跃,祁兰英,舒树兰,等,2008.青海祁漫塔格地区斑岩铜 矿的成矿条件和远景.地质与勘探,44(2):14-22.
- 姜春发,王宗起,李锦轶,2000. 中央造山带开合构造. 北京: 地质出版社.
- 姜春发,杨经绥,冯秉贵,等,1992.昆仑开合构造.北京:地质 出版社.
- 李碧乐,沈鑫,陈广俊,等,2012. 青海东昆仑阿斯哈金矿 I 号 脉成矿流体地球化学特征和矿床成因. 吉林大学学报 (地球科学版),42(6): 1676-1687.
- 李昌年,1992.火成岩微量元素岩石学.武汉:中国地质大学 出版社,181.
- 李大新,张德全,崔艳合,等,2003.小赛什腾山斑岩铜(钼)矿 床根部带的特征.地球学报,24(3):211-218.
- 李世金,孙丰月,丰成友,等,2008.青海东昆仑鸭子沟多金属 矿的成矿年代学研究.地质学报,82(7):949-955.
- 李献华,周汉文,刘颖,等,2001. 粤西阳春中生代钾玄质侵入 岩及其构造意义:Ⅱ. 微量元素和 Sr-Nd 同位素地球化 学. 地球化学,1(30): 57-65.
- 刘云华,莫宣学,喻学惠,等,2006.东昆仑野马泉地区景忍花 岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义.岩石学 报,22(10):2457-2463.
- 罗明非,莫宣学,喻学惠,等,2014.东昆仑香日德地区晚三叠

世花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、岩石成因和构 造意义. 岩石学报,30(11): 3229-3241.

- 罗照华,邓晋福,曹永清,等,1999. 青海省东昆仑地区晚古生 代一早中生代火山活动与区域构造演化.现代地质,13 (1):51-56.
- 罗照华,柯珊,曹永清,等,2002.东昆仑印支晚期幔源岩浆活动.地质通报,21(6):292-297.
- 莫宣学,罗照华,邓晋福,等,2007.东昆仑造山带花岗岩及地 壳生长.高校地质学报,13(3):403-414.
- 佘宏全,张德全,景向阳,等,2007.青海省乌兰乌珠尔斑岩铜 矿床地质特征与成因.中国地质,(2):306-314.
- 宋忠宝,贾群子,张占玉,等,2010. 东昆仑祁漫塔格地区野马 泉铁铜矿床地质特征及成因探讨. 西北地质,43(4): 209-217.
- 宋忠宝,张雨莲,陈向阳,等,2013. 东昆仑哈日扎含矿花岗闪 长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义. 矿床 地质,32(1): 157-168.
- 王松,丰成友,李世金,等,2009. 青海祁漫塔格卡尔却卡铜多 金属矿区花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地 质意义.中国地质,36(1):74-84.
- 王岳军, 沈远超, 林舸, 等, 1999. 中昆仑北部古生代构造岩浆 作用及其演化. 地球学报, 20(1): 1-9.
- 吴健辉,丰成友,张德全,等,2010. 柴达木盆地南缘祁漫塔 格一鄂拉山地区斑岩一砂卡岩矿床地质. 矿床地质,29 (5):760-774.
- 夏锐,卿敏,王长明,等,2014. 青海东昆仑托克妥 Cu-Au (Mo)矿床含矿斑岩成因:锆石 U-Pb 年代学和地球化 学约束. 吉林大学学报(地球科学版),44(5): 1502-1524.
- 向鹏,2011. 青海省加当根斑岩型铜(钼)矿床成矿特征及成 矿条件研究(硕士学位论文). 武汉:中国地质大学.
- 向鹏,姚书振,周宗桂,2013. 青海加当根斑岩型铜(钼)矿床 岩石地球化学特征及其成因认识. 西北地质,46(1): 139-153.
- 许庆林,2014. 青海东昆仑造山带斑岩型矿床成矿作用研究 (博士学位论文). 长春:吉林大学.
- 许庆林,孙丰月,李碧乐,等,2014. 东昆仑莫河下拉银多金属 矿床花岗斑岩年代学、地球化学特征及其构造背景.大 地构造与成矿学,38(2):421-433.
- 殷鸿福,张克信,1997. 东昆仑造山带的一些特点. 地球科学, 22(4): 3-6.
- 于森,2013. 青海尕林格铁矿矽卡岩矿物学及矿化蚀变分带 特征研究(硕士学位论文). 北京:中国地质大学.
- 袁万明,莫宣学,喻学惠,等,2000. 东昆仑印支期区域构造背 景的花岗岩记录. 地质论评,46(2): 203-211.
- 张德全,党兴彦,佘宏全,等,2005.柴北缘一东昆仑地区造山 型金矿床的 Ar-Ar 测年及其地质意义.矿床地质,24 (2):87-98.